Multimeters

Een multimeter is even onmisbaar voor de hobby-elektronicus als een soldeerbout. In dit uitgebreid artikel bespreken wij de soorten, de specificaties en de schakelingen van dit zeer nuttig instrument.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 02-05-2023

Van de AVO naar een vrijwel oneindige keuze

Wat is een digitale multimeter?
Een multimeter, ook wel universeelmeter of AVO-meter genoemd, is een meetinstrument waarmee u diverse elektrische grootheden kunt meten. De uitvinding van de multimeter wordt toegeschreven aan de Britse PTT-technicus Donald Macadie. Deze was het beu om rond te zeulen met een heleboel meetinstrumenten en ontwierp in 1927 een meter waarmee hij zowel spanningen, stromen als weerstanden kon meten.
De moeder van alle commerciële multimeters is ongetwijfeld Model 8 van het Engelse bedrijf AVO. Dit model werd in 1951 geïntroduceerd en werd gefabriceerd tot 2008. De laatste versie was de Mark 7. Vrijwel iedere elektronicus die ouder is dan veertig jaar heeft met deze multimeter gewerkt. Op alle technische opleidingen, van laag tot hoog, was dit dé meter waarmee de basiswetten van de elektriciteit experimenteel werden aangetoond. Model 8 kon gelijkspanning, wisselspanning, gelijkstroom, wisselstroom en weerstand meten. Uit de drie eenheden ampère, volt en ohm werd de naam AVO samengesteld. Vandaar dat elektronici op leeftijd het nog steeds hebben over een '*AVO-meter*' in plaats van multimeter.
De eerste digitale multimeter werd in 1955 op de markt gebracht door het Amerikaanse Non Linear Systems. Dat was uiteraard een zwaar en omvangrijk bench-top instrument. De eerste hand-held multimeter werd ontwikkeld door Intron Electronics en verscheen rond 1977.



Het beroemde Model 8 van AVO. (© Peter Vis)

Soorten multimeters
Moderne digitale multimeters meten veel meer dan A, V en O. De moderne techniek heeft er bovendien voor gezorgd dat u kunt kiezen uit een heleboel uitvoeringen en honderden typen. Tóch kunt u al de meetinstrumenten in negen categorieën indelen. In de onderstaande montagefoto hebben wij deze negen soorten verenigd, met van links naar rechts:

- Handmatig instelbare multimeters
- Semi-automatische multimeters (auto-ranging)
- Vol-automatische multimeters (smart)
- Pen multimeters
- Bench-top multimeters
- Tang multimeters (clamp)
- Pincet multimeters (tweezer)
- Smart-phone multimeters
- Grafische multimeters



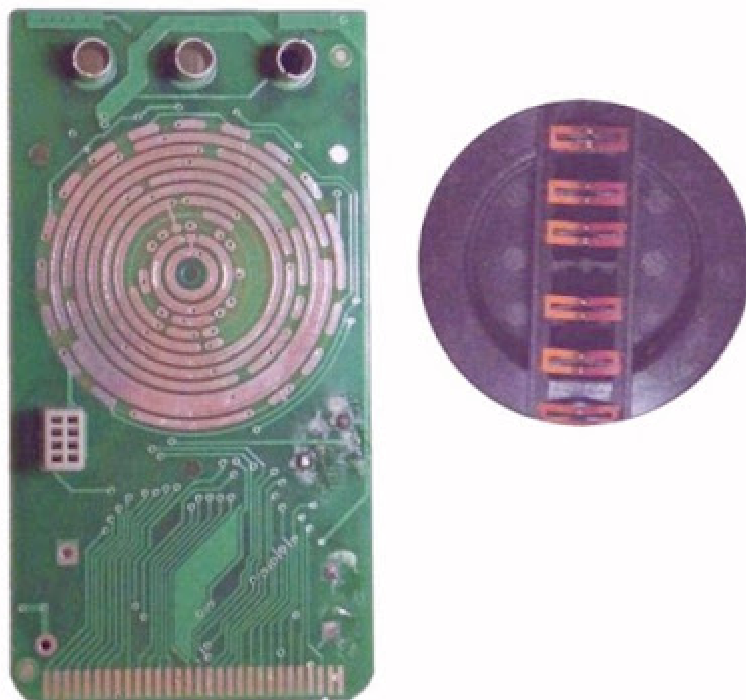
De negen soorten multimeters verenigd. (© 2023 Jos Verstraten)

De handmatig instelbare multimeter
Dit type wordt gekenmerkt door een grote draaischakelaar met een heleboel standen, soms wel meer dan dertig. Iedere stand komt overeen met één meetbereik. Bij het bedienen van zo'n meter moet u dus altijd goed opletten of u de draaischakelaar op de gewenste stand zet.



De handmatig instelbare multimeter.
(© AliExpress)

Omdat dergelijke schakelaars niet standaard worden gefabriceerd en het veel te kostbaar zou zijn om zo'n onderdeel te ontwerpen en te fabriceren voor één type multimeter zijn deze draaischakelaars altijd uitgevoerd als printschakelaar. Op de print zijn koperen cirkelsegmenten geëtst, onder de knop van de draaischakelaar is een aantal sleepcontacten aangebracht die voor iedere stand van de schakelaar de juiste cirkelsegmenten met elkaar doorverbinden. Op de onderstaande foto ziet u hoe zo'n schakelaar er in de praktijk uitziet. U ziet meteen het zwakke punt van zo'n constructie. Het is maar helemaal de vraag of het contact tussen de track's op de print en de sleepcontacten op de lange termijn betrouwbaar blijft. Bij de duurdere modellen zijn de track's en de sleepcontacten verguld om dit zwakke punt iets betrouwbaarder te maken.



De constructie van de schakelaar. (© 2023 Jos Verstraten)

De semi-automatische multimeter (auto-ranging)
'*Auto-ranging*' is een functie waarmee het apparaat automatisch het juiste meetbereik (range) kiest voor de geselecteerde grootheid. Dit betekent dat u alleen de te meten grootheid met een draaischakelaar moet selecteren en dat de meter verder al het instelwerk zélf uitvoert. Als de gemeten waarde opeens verandert past de multimeter automatisch het bereik aan om de grootste meetresolutie te behouden.
In de onderstaande foto ziet u een typisch voorbeeld van zo'n halfautomaat of auto-ranging meter. U ziet dat de draaischakelaar nu slechts negen standen heeft, hetgeen de bediening van de meter veel overzichtelijker maakt en fouten elimineert.
Sommige auto-ranging multimeters hebben als extra een drukknop '*RANGE*'. Hiermee schakelt u de automatische functie uit en kunt u, door diverse keren op die knop te drukken, het meetbereik met de hand instellen.



Een auto-ranging multimeter. (© Fluke)

De vol-automatische multimeter (smart)
Bij de volgende categorie meters is de automatisering nog een stapje verder doorgevoerd. Niet alleen het bereik, maar ook de meetfunctie wordt door het apparaat ingesteld. Althans, dat beweren de adverteerders van dergelijke '*smart*' multimeters. In de praktijk werkt deze functie maar gedeeltelijk en soms vrij onbetrouwbaar. Als u een gelijkspanning, een wisselspanning of een weerstand op de meter aansluit zal het apparaat dit ongetwijfeld detecteren en de juiste meetfunctie inschakelen. Voor alle overige te meten grootheden zoals capaciteiten of frequenties zult u de grootheid tóch nog met de hand moeten instellen. Maar omdat u een multimeter het meest gebruikt voor het meten van spanningen en weerstanden werkt die '*smart*'-functie toch vaak bevredigend. Uiteraard bieden de meeste smart multimeters de mogelijkheid om de automatiek uit te schakelen en alles met de hand in te stellen.



Een vol-automatische multimeter. (© Mustek)

De pen multimeter
Het is, zeker nu de onderdeeltjes op een print zo klein zijn geworden, moeilijk om de pennen van de meter op de juiste plaatsen op de print te fixeren én de meter af te lezen. Om het probleem van het heen en weer schieten van de ogen tussen de print en het display van de multimeter op te lossen heeft men de pen-multimeter bedacht. Zo'n meter heeft maar één meetsnoer, de tweede pool is de scherpe naald die op de punt van de meter is gemonteerd. Dergelijke meters zijn steeds half-automaten (auto-ranging). Met een klein draaiknopje stelt u de te meten grootheid in. U verbindt het ene meetsnoer met de massa van de schakeling waarin u gaat meten. Met de scherpe pen zoekt u het meetpunt op waarop u de spanning wilt meten. Omdat u uw ogen op dat punt kunt fixeren, u ziet immers ook het display, is de kans veel kleiner dat de naald van het meetpunt afglijdt. De meeste pen-meters hebben maar een beperkte keuze in de te meten grootheden. Stromen kunt u er vrijwel nooit mee meten.



Een typische pen-multimeter. (© Zangzhou)

De bench-top multimeter
Deze instrumenten zijn de grotere uitvoeringen van de hand-held multimeters en hebben als groot voordeel dat zij stevig en stabiel op uw hobby-tafel staan. Door de veel grotere behuizing is er plaats om een groter display op de frontplaat te monteren. Ook de bedieningsknoppen zijn wat ruimer opgezet.
De afmetingen van de behuizingen zijn (min of meer) aangepast aan de afmetingen van de behuizingen van functiegeneratoren, RLC-meters en sommige platte voedingen. Het gevolg is dat het mogelijk is uw meetapparatuur te stapelen. Gebruikt u zo'n meter stand-alone, dan

kunt u een handige draagbeugel in zo'n stand fixeren dat u de behuizing onder een hoek op de tafel kunt zetten, zodat het display goed is af te lezen.
Dank zij de uiterste miniaturisering van de moderne elektronica zijn de behuizingen van dergelijke multimeters grotendeels leeg. Sommige fabrikanten gebruiken deze lege ruimte om er een opbergvakje voor de meetsnoeren van te maken.
Een handigheid die op de meeste bench-top multimeters wel aanwezig is, maar op de hand-held exemplaren niet, is dat de zekering die het hoogste stroombereik beveiligt in de 4 mm bus op het frontpaneel is ingebouwd. Hebt u per ongeluk deze zekering opgeblazen, dan moet u niet de behuizing gaan open schroeven, maar kunt u met een paar simpele handelingen deze zekering vervangen.



Twee voorbeelden van bench-top multimeters. (© 2023 Jos Verstraten)

Deze apparaten treft u aan met handbediening en als half-automaten. Een groot verschil met de hand-held uitvoeringen is dat er bench-top apparaten zijn die niet met draaischakelaars worden bediend maar met (al dan niet verlichte) drukknoppen. Sommige mensen vinden dat veel handiger en duidelijker dan draaischakelaars.
Een ander groot verschil is dat alle bench-top apparaten zijn voorzien van netvoeding, hoewel sommige modellen ook ingebouwde batterijen of accu's hebben.

De tang multimeter (clamp)
Het meten van stromen met de tot nu toe behandelde uitvoeringen vereist dat u het circuit waarin u de stroom wilt meten moet onderbreken. Nadien schakelt u de meter is serie tussen de voeding en de belasting. Dat is altijd vervelend en soms zelfs onmogelijk. Om dit probleem op te lossen heeft men de tang multimeters ontwikkeld, in het Engels clamp-meter genoemd. In de onderstaande foto ziet u een typische representant van dit model. Aan de rechterzijde van de meter treft u twee 4 mm connectoren aan waarmee u de meter kunt gebruiken voor het meten van weerstanden, spanningen en eventueel condensatoren. Stromen meten is hiermee niet mogelijk, daarvoor moet u de tang gebruiken aan de linkerzijde van de meter. Deze tang kunt u openen zodat het mogelijk is de tang rond de stroomvoerende ader te bevestigen. Een elektrische stroom die door een geleider vloeit wekt rond deze geleider een magnetisch veld op. Dit veld wordt door de tang gemeten en omgezet in een kleine spanning die door de meter wordt gemeten. Meestal wordt gewerkt met een hall-sensor die in de tang is ingebouwd. De uitgangsspanning van deze sensor kan door de processor in de multimeter worden omgerekend tot de waarde van de stroom die dan op het display verschijnt.
Noteer dat het geen zin heeft op deze manier de stroom te meten die door een netsnoer vloeit! In dat snoer zijn immers twee aders aanwezig waarin de stromen in tegengestelde richtingen vloeien. Het resulterend magnetisch veld rond de kabel is dan nul. Stroomtangen werken uitsluitend rond één stroomvoerende geleider.



Het typische uiterlijk van een clamp-meter. (© UNI-T)

De pincet multimeter (tweezer)
Een vrij nieuwe ontwikkeling op multimeter gebied is op de onderstaande foto weergegeven. Met een dergelijk apparaat kunt u alle onderdelen meten die u tussen de twee bekken van het pincet kunt klemmen: batterijen, accu's, weerstanden, diodes en condensatoren. Met de meeste tweezer-meters kunt u geen wisselspanningen en stromen meten. Uiteraard werken ook deze meters met auto-ranging.



Een tweezer- of pincet-meter van UNI-T. (© UNI-T)

De smart-phone multimeter
Het allernieuwste! Vooral Chinese fabrikanten van meetapparatuur ontwerpen nu multimeters die als twee druppels water lijken op uw smart-phone. In de onderstaande foto is bijvoorbeeld Model 683 van Aneng voorgesteld. De multimeter is slechts 2,5 cm dik en het scherm vult de volledige voorzijde van het apparaat. Voor het eerst wordt ook gebruik gemaakt van een touch-screen (aanraakscherm) voor het instellen van de multimeter.



De smart-phone multimeter Model 683 van Aneng. (© Banggood)

De grafische multimeter
De duurdere uitvoeringen van multimeters bieden de mogelijkheid andere dan (alfa)numerieke gegevens op het display weer te geven. Met het onderstaande model van Fluke kunt u gegevens loggen en de gelogde gegevens in een grafiek op het scherm zetten. Zo ziet u onmiddellijk hoe de gemeten grootheid verloopt in functie van de tijd. Andere, voornamelijk Chinese, grafische multimeters bevatten een simpele oscilloscoop zodat u ook de vorm van een gemeten signaal op het scherm kunt zetten.



Een voorbeeld van een grafische multimeter. (© Fluke)

Overige uiterlijkheden van multimeters

Het display

Wat betreft de manier waarop de gemeten waarde op het display verschijnt kunt u kiezen tussen allerlei technologieën en vormgevingen. De eenvoudigste display's bestaan uit een LCD-scherm waarop uitsluitend vier zeven-segment indicatoren te zien zijn die de waarde van de gemeten grootheid weergeven. Het andere uiterste is een grafisch hoge-resolutie scherm waarop niet alleen de cijfers heel netjes in een bepaald lettertype worden weergegeven, maar die ook nog een heleboel andere alfanumerieke informatie tonen. Het display geeft dan bijvoorbeeld aan waarvoor de drukknopjes onder of naast het display voor dienen.
De onderstaande figuur waarin een aantal display's van multimeters is verzameld, geeft mooi weer wat een immense keuze u hebt!



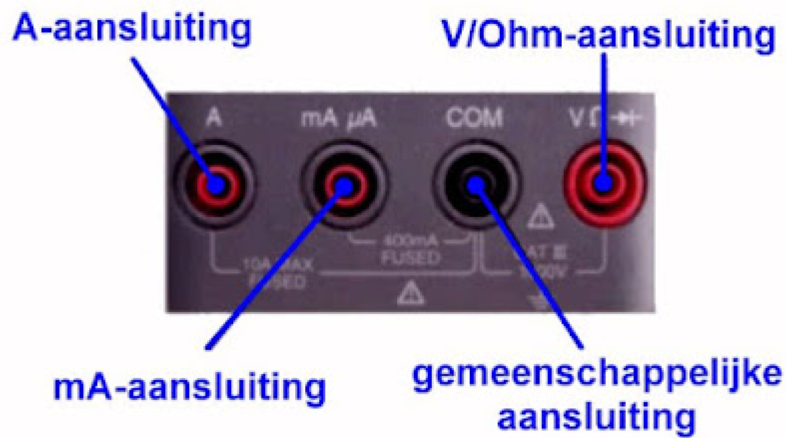
Diverse display's van multimeters verzameld. (© 2023 Jos Verstraten)

Wat tegenwoordig wél standaard is bij de meters van het betere soort is dat er twee numerieke indicatoren op het display worden weergegeven. De eerste grote indicator geeft de waarde van de gemeten grootheid weer, de tweede kleinere indicator geeft een tweede grootheid van het gemeten signaal weer. Zo kunt u van een wisselspanning niet alleen de grootte, maar ook de frequentie in beeld krijgen. Van een gelijkspanning ziet u dan bijvoorbeeld de actuele waarde, maar ook de minimale, de maximale of de gemiddelde waarde gedurende de meetcyclus.
Een tweede voorziening die u op vrijwel alle multimeters aantreft is de mogelijkheid om de gemeten waarde niet alleen numeriek, maar ook analoog op een soort van thermometer schaal weer te geven.
Soms verschijnen er zoveel gegevens op het display dat het aflezen van de meter niet meer overzichtelijk is. Een optie om zélf te kiezen welke gegevens u wél en welke niet wilt zien hebben wij helaas nog nooit aangetroffen.

De aansluitingen

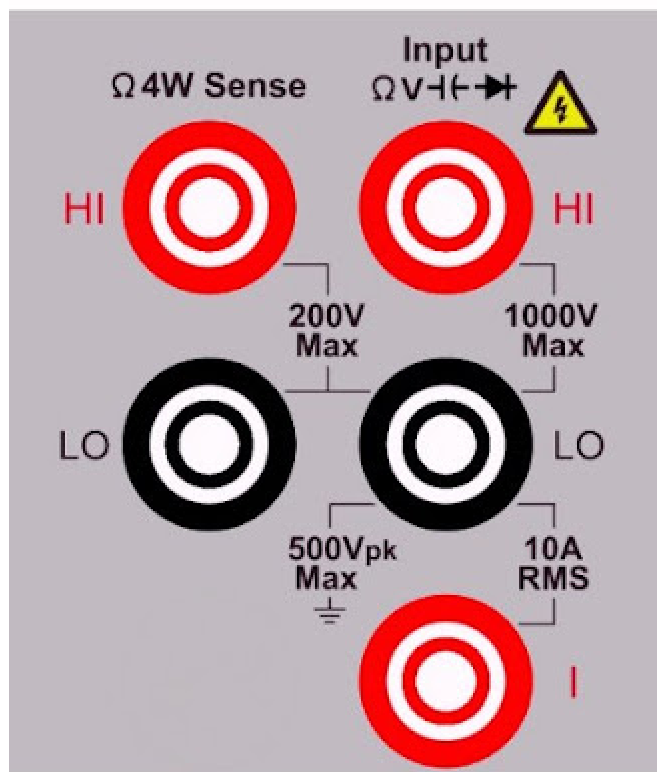
Wat dit betreft is er een soort van de-facto standaard ontstaan, voorgesteld in de

onderstaande figuur. Noteer dat lang niet alle fabrikanten zich aan deze standaard houden! De multimeters die wél aan deze standaard voldoen hebben vier 4 mm bussen op een onderlinge afstand van 19 mm. De meest rechtse rode bus is bedoeld voor het meten van spanningen, weerstanden, condensatoren, diodes en temperaturen. Daarnaast staat een zwarte bus, de '*COM*' die de gemeenschappelijke aansluiting is voor alle metingen. De twee linker aansluitingen zijn ook rood en bedoeld voor het meten van stromen in het µA/mA- of A-bereik. Zoals reeds beschreven zitten bij sommige bench-top multimeters de zekeringen voor het beveiligen van de stroommetingen in deze bussen ingebouwd.



De de-facto standaard voor aansluitingen. (© 2023 Jos Verstraten)

'*SENSE*'-aansluitingen
Multimeters van het betere soort hebben ook nog eens twee zogenaamde '*SENSE*'-aansluitingen. Bij sommige meters noemt men dat '*Ω4W*'. Deze worden gebruikt voor het meten van kleine weerstanden volgens de vierdraad-methode, wij komen daar later in dit artikel nog op terug. Deze twee '*SENSE*'-bussen staan altijd naast de '*V/Ohm*'- en '*COM*'-bussen.



De 'SENSE'-aansluitingen. (© 2023 Jos Verstraten)

De functies van digitale multimeters

Meten van grootheden
De voornaamste taak van een multimeter is uiteraard het meten van de exacte waarde van een grootheid. In de loop der jaren is het aantal grootheden dat u kunt meten flink uitgebreid. Met de allereerste multimeters kon u alleen spanningen, stromen en weerstanden meten. Met de moderne meters meet u:

- Gelijkspanningen in mV of V
- Wisselspanningen in mV of V
- Gelijkstromen in µA, mA of A
- Wisselstromen in µA, mA of A
- Weerstanden in Ω, kΩ of MΩ
- Condensatoren in pF, nF, µF of mF
- Temperaturen in °C of °F
- Inducties in µH of mH
- Versterkingen/verzwakkingen in dB
- Frequenties in Hz, kHz of MHz
- Duty-cycle in %

Inducties, dus spoelen? Jazeker, wij hebben minstens één multimeter gevonden die dat kan, de HP-770C van HoldPeak.
Naast deze basisfuncties hebben vrijwel alle multimeters nog een aantal extra functies:

- Diode test
- Continuity test
- NCV test
- LIVE test
- HFE test
- HOLD functie
- REL functie
- True-RMS functie
- MIN/MAX functie
- LOG functie
- Auto-shutdown functie
- Backlight functie
- Low-Z functie
- Signal-out functie

Let er wel op dat lang niet alle multimeters al die functies hebben!

Diode test
Met deze functie kunt u vaststellen of diodes in de ene richting aangesloten geleiden en in de andere richting aangesloten sperren. Ook te gebruiken voor het testen van LED's.

Continuity test
Hiermee test u of er tussen twee geleiders een laagohmige verbinding bestaat. Is de weerstand tussen beide geleiders kleiner dan bijvoorbeeld 50 Ω dan gaat er een zoemertje af in de meter. De grenswaarde verschilt van meter tot meter, soms wordt 100 Ω aangehouden.

NCV test
'*NCV*' is het letterwoord van '***N****on* ***C****ontact* ***V****oltage*'. Met deze functie kunt u wisselspanning voerende draden in de muur opsporen. In de behuizing van de meter is dan een klein spoeltje aanwezig. Als u met de meter een muur aftast pikt dat spoeltje het elektromagnetisch veld rond een geleider op. De meter gaat dan piepen. Vaak verschijnt er op het display een indicatie van de sterkte van het veld. Tot nu toe zijn wij echter, bij onze tests van multimeters, nooit erg onder de indruk gekomen van deze functie.

LIVE test
Met deze optie kunt u detecteren welke 230 V draad de fase is en welke draad de nul is. Deze functie detecteert blijkbaar de uiterst kleine capacitieve lekstroom die tussen de fase en de aarde gaat lopen via de meter en uw lichaam. Ook over deze functie worden wij bij de door ons geteste multimeters niet erg enthousiast. Vertrouw er niet op! Gebruikt de oeroude

spanningstester met een neon-lampje, werkt altijd en is zeer betrouwbaar.

HFE test
Sommige meters hebben een voetje waarin u de drie draadjes van een transistor kunt pluggen. De meter geeft dan de stroomversterking van de halfgeleider weer. Deze grootheid van een transistor is echter van een heleboel parameters afhankelijk. De nauwkeurigheid van de weergegeven waarde is dus zeer discutabel. Deze functie is in feite alleen bruikbaar om de versterking van identieke transistoren met elkaar te vergelijken.

HOLD functie
Na een druk op deze knop blijft de actueel gemeten waarde op het display staan.

REL functie
Een interessante functie waarbij de momenteel gemeten waarde in een geheugen wordt opgeslagen en afgetrokken van alle volgende metingen. Na indrukken van deze toets gaat de uitlezing dus naar nul. U kunt deze functie bijvoorbeeld gebruiken voor het compenseren van de weerstand van de meetkabels bij het meten van zeer lage weerstanden.

True-RMS functie
Meet de echte effectieve waarde van een wisselspanning en niet de gemiddelde waarde. De echte effectieve waarde is die waarde die even veel thermische vermogen in een ohmse weerstand genereert als een gelijkspanning met dezelfde waarde.

MIN/MAX functie
Met deze functie worden de minimaal en de maximaal gemeten waarden in het geheugen opgeslagen en, na een druk op een toets, op het display getoond. Met deze functie kunt u bijvoorbeeld de minimale en maximale waarden van de netspanning gedurende één dag te weten komen. U moet dan wél de multimeter de hele dag de netspanning laten meten. Deze functie is immers alleen actief gedurende de actuele meetcyclus.

LOG functie
De multimeter slaat de gemeten waarde om de zoveel seconden of minuten op in een geheugen. De opgeslagen meetwaarden kunnen nadien onder de vorm van een grafiek worden getoond op het scherm of onder de vorm van een tabel met daarin de opgeslagen meetwaarden en de tijden waarop zij zijn gemeten.

NO	MODE	VALUE
1	DCV	-00.362mVDC
2	DCV	-00.362mVDC
3	DCV	-00.362mVDC
4	DCV	-00.362mVDC
5	DCV	-00.362mVDC
6	DCV	-00.362mVDC
7	DCV	-00.362mVDC
8	DCV	-00.362mVDC
9	DCV	-00.362mVDC

De LOG-functie van de XDM1041. (© 2023 Jos Verstraten)

Auto-shutdown functie
Met deze functie ingeschakeld zal de multimeter zichzelf na een bepaalde tijd uitschakelen als de elektronica in de meter geen bedienings-activiteit ontdekt.

Backlight functie
Het LCD-display wordt aan de achterzijde aangelicht zodat het ook in de duisternis goed is af te lezen.

Low-Z functie
Deze functie is van belang bij het meten van wisselspanningen. Een multimeter moet bij het meten van spanningen in de meeste gevallen een zo hoog mogelijke ingangsweerstand hebben (lees verder in dit artikel waarom). Als u met zo'n hoge ingangsweerstand de wisselspanning op een draad meet die nergens mee is verbonden kan het tóch voorkomen dat u daar een spanning op meet. Die spanning ontstaat door inductieve en/of capacitieve koppelingen van spanning voerende draden die parallel lopen een de ene waarop u meet. Dat kan verwarrend zijn: '*Waarom meet ik op deze draad een spanning? Ik dacht toch dat ik hem had losgekoppeld!*'. Sommige multimeters hebben een 'Low-Z' drukknopje. Als u daar op drukt wordt de ingangsweerstand tot een veel lagere waarde gereduceerd.
Spanningen op uw meetpunt die uitsluitend ontstaan door inductieve en capacitieve koppelingen verdwijnen dan als sneeuw in de zon. De wisselstroom weerstanden van deze koppelingen zijn immers veel en veel hoger dan de lage ingangsweerstand van de multimeter in de '*low-Z*' functie. Blijft de spanning aanwezig, dan staat er een '*echte*' wisselspanning op uw meetpunt. Uiteraard mag u maar heel even op dat knopje duwen. Het verlagen van de ingangsweerstand van uw meter kan immers tot gevolg hebben dat er heel wat thermische energie in de meter wordt gedissipeerd.
Ter informatie: deze geïnduceerde spanningen worden '*fantoomspanningen*' genoemd.

Signal-out functie
Sommige multimeters hebben een uitgang waarop een symmetrische blokspanning staat. Het nut daarvan is minimaal, want noch de frequentie, noch de grootte zijn instelbaar. Wat ons betreft een tamelijk overbodige functie op een multimeter!

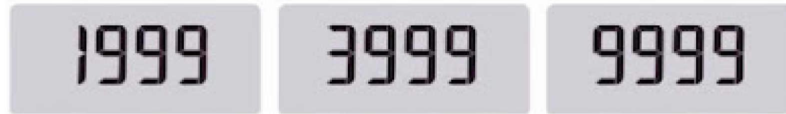
De specificaties van digitale multimeters

De specificaties bepalen de kwaliteit van een multimeter
Om multimeters te kunnen vergelijken heeft men een aantal goed gedefinieerde parameters nodig, waarover geen meningsverschil kan ontstaan over wat zij precies inhouden. Die parameters worden samengevat in de specificaties van de multimeter. Dat zijn er heel wat, de voornaamsten zijn:

- Het aantal digits
- Het aantal counts
- De precisie
- De resolutie
- De nauwkeurigheid
- De sample-rate
- De ingangsweerstand R_i
- De ingangscapaciteit C_i
- Het frequentiebereik bij wisselspanningsmeting
- De crest-factor bij true-RMS metingen
- De burden-spanning bij stroommeting
- De Common Mode Rejection Ratio

Het aantal digits
Het aantal digits geeft de hoeveelheid cijfers weer waaruit het display bestaat. Als het meest linker cijfer alleen de een kan weergeven spreekt men van ½ digit. Een meter met een display tot 9999 is dus een vier digit meter. Een soortgenoot met een display tot 1999 is een 3½ digit meter. Er zijn echter ook meters waarbij het linker cijfer 0, 1, 2 en 3 kan aangeven. Zo'n meter meet dus tot 3999 en wordt een 3¾ meter genoemd.

Het aantal counts
Definieert het grootste getal dat het display kan weergeven. Het zal duidelijk zijn dat een meter met 9999 counts meer mogelijkheden heeft dan een meter met slechts 1999 counts. Met de eerste meter kunt u een spanning tot 9,999 V meten met een resolutie van 1 mV, met de tweede kunt u dat slechts tot een spanning van 1,999 V. Bij sommige meters hangt het aantal counts af van de grootheid die u meet. Zo kunt u bijvoorbeeld met een 3¾ digit meter spanningen meten tot 3999 counts maar frequenties tot 9999 counts.



Drie meters met counts tot 1999, 3999 en 9999.
(© 2023 Jos Verstraten)

De precisie
Precisie verwijst naar het vermogen van een digitale multimeter om herhaaldelijk een identieke grootheid te meten met steeds dezelfde meetwaarde in het display als resultaat. Dit lijkt vanzelfsprekend, maar dat is het niet. De precisie van een multimeter hangt bijvoorbeeld samen met de lange-termijn stabiliteit, de luchtvochtigheid, de temperatuur van de meter en nog een heleboel andere eigenschappen van het ontwerp en de constructie. Zet de meter aan en meet de spanning van een batterij. Zorg dat de kamertemperatuur constant blijft en meet na een uur die spanning nog eens. Wedden dat u een iets andere waarde meet?

De resolutie
In een vorige paragraaf hebben wij het woord resolutie al laten vallen. Dat is de kleinste verandering in de meetwaarde die nog zichtbaar kan worden gemaakt. Meet u spanningen met een meter met 4999 counts, dan kunt u in het meetbereik 5 V meten tot een spanning van 4,999 V met een resolutie van 1 mV.

De nauwkeurigheid
De nauwkeurigheid verwijst naar de grootst mogelijke meetfout die bij een meting kan optreden. De nauwkeurigheid wordt uitgedrukt onder de vorm van een percentage en deze waarde geeft aan hoe dicht de gemeten waarde bij de werkelijke waarde van de grootheid ligt. Omdat de gemeten waarde zowel lager als hoger dan de werkelijke waarde kan zijn wordt de nauwkeurigheid altijd voorafgegaan door het ±-teken.
Een meter met een nauwkeurigheid van ±1 % zal een spanning met een werkelijke waarde van 1,000 V meten als liggend tussen 0,990 V en 1,010 V. Eén procent van 1 V is immers 10 mV.
Soms wordt aan de procentuele waarde nog een aantal counts toegevoegd. Dat noemt men de '*statische fout*'. De nauwkeurigheid van een 4 digit / 2999 counts meter wordt dan bijvoorbeeld gespecificeerd als ±(2 % + 2). Als u met een dergelijke meter een exacte spanning van 100,00 V meet moet de weergegeven waarde liggen tussen 097,8 V en 102,2 V.
De nauwkeurigheid van een multimeter is niet voor alle meetgrootheden identiek. Als voorbeeld geven wij de gespecificeerde nauwkeurigheden van de FNIRSI S1 multimeter:

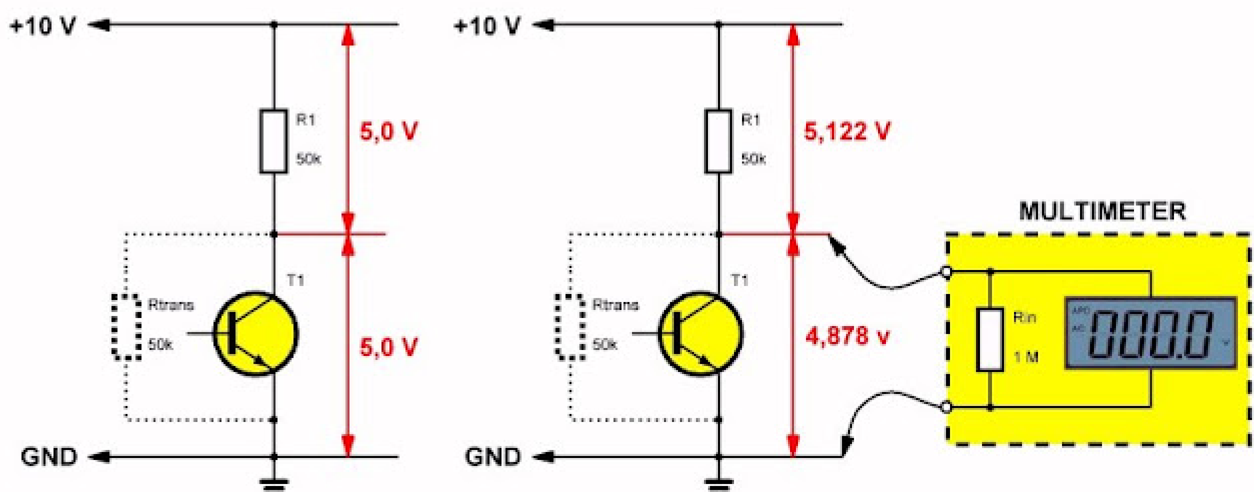
- Gelijkspanning: ±(0,8 % + 3)
- Wisselspanning: ±(0,8 % + 3)
- Weerstand: ±(1,2 % + 3)
- Capaciteit: ±(4,5 % + 5)
- Frequentie: ±(0,1 % + 3)
- Temperatuur: ±(5 % + 4)

Het verband tussen resolutie en nauwkeurigheid
Die twee begrippen worden door de leek vaak door elkaar gebruikt. Dat is fout, maar er bestaat natuurlijk wel een bepaalde relatie tussen beide begrippen. Stel dat u een meter hebt met een nauwkeurigheid van ±1 %. Als u een spanning meet van 100 V kan de gemeten waarde liggen tussen 99 V en 101 V. Het heeft geen enkele zin in dit voorbeeld te meten met

een resolutie van 1 mV. Er zit immers een foutmarge van 2 V op het meetresultaat!
Het enige waarvoor die hoge resolutie in dit geval nog wel zinvol zou kunnen zijn is bij het vergelijken van twee spanningen of bij het meten van het verloop van de waarde van een spanning in functie van de tijd of de temperatuur. Voor het bepalen van de absolute waarde van de aangelegde spanning speelt die hoge resolutie echter geen enkele rol.

De sample-rate
Een digitale meter moet een analoog variërende grootheid omzetten in een getalswaarde. Dat doet zo'n meter door een sample of een monster van de te meten grootheid te nemen en dit om te zetten in een numerieke waarde. Dat omzettingsproces duurt een bepaalde tijd. Vandaar dat een multimeter maar een beperkt aantal samples per seconde kan nemen. Deze eigenschap van een multimeter wordt de '*sample-rate*' genoemd. De meeste multimeters hebben een sample-rate van 2 tot 5 samples/s.

De ingangsweerstand R_i bij gelijkspanningsmeting
Dit is een van de belangrijkste specificaties van een multimeter! De ingangsweerstand bepaalt in hoge mate of de gemeten spanning op een punt wel gelijk is aan de spanning op dat punt zonder aangesloten meter. In de onderstaande figuur is links een praktische meetsituatie weergegeven. Op de collector van een transistor T1 staat een spanning van 5,0 V. De schakeling wordt gevoed met 10 V en de collectorweerstand is 50 kΩ. Uit deze gegevens volgt dat de weerstand van de geleidende transistor ook 50 kΩ is. Deze is gestippeld getekend. Over beide identieke weerstanden valt dan dezelfde spanning, dus de helft van de voedingsspanning. Nu gaat u de collectorspanning meten met een multimeter die een inwendige weerstand heeft van 1 MΩ. Die situatie in rechts geschetst. Over de 50 kΩ weerstand van de transistor komt nu de 1 MΩ weerstand van de meter parallel te staan.
De vervangingsweerstand van die twee parallel geschakelde weerstanden is 47,62 kΩ. De spanningsdeler tussen de 10 V voeding en de GND komt er nu anders uit te zien, een bovenste weerstand van nog steeds 50 kΩ en een onderste weerstand van 47,62 kΩ. Dat betekent dat ook de spanningsverdeling anders wordt. Over de bovenste weerstand valt 5,122 V, over de onderste 4,878 V.
Het resultaat van het aansluiten van de multimeter op de collector is dat de spanning op die collector daalt van 5,0 V naar 4,878 V. Het heeft dus weinig zin die multimeter met een ingangsweerstand van 1 MΩ te ontwerpen met een nauwkeurigheid van ±0,1 %. De nauwkeurigheid van de meting gaat tóch volledig verloren door de lage ingangsweerstand.
Besluit van dit verhaal is dat een hoge resolutie multimeter met een hoge nauwkeurigheid een zo groot mogelijke ingangsweerstand moet hebben. De meeste goedkope multimeters hebben een ingangsweerstand van 10 MΩ. In het getekende voorbeeld zou de gemeten collectorspanning gelijk worden aan 4,987 V. Een grote verbetering!
Professionele multimeters, zoals onze Fluke 8842A met 199999 counts en met een nauwkeurigheid van ±0,01 %, hebben zelfs een nog hogere ingangsweerstand, namelijk 10.000 MΩ! Bij een lagere waarde zouden die hoge resolutie en nauwkeurigheid zinloos worden.



De ingangscapaciteit C_i bij wisselspanningsmeting
Bij het meten van wisselspanning moet u er rekening mee houden dat er tussen de ingang van de multimeter en de '*COM*' een bepaalde parasitaire capaciteit C_i aanwezig is. Deze heeft een impedantie, een wisselstroom weerstand, die afhankelijk is van de frequentie. Deze staat parallel aan de R_i van de meter en zorgt er dus voor dat de ingangsweerstand bij het meten van wisselspanning veel lager is dan deze bij het meten van gelijkspanning. Om de frequentie-afhankelijke invloed van deze capaciteit zo klein mogelijk te maken kiest men er meestal voor om de ingangsweerstand voor wisselspanning te verlagen tot 1 MΩ. De wisselspanningsdaling die optreedt op een punt door het meten op dat punt is dus veel groter dan het geval is bij het meten van gelijkspanningen.

Het frequentiebereik bij wisselspanningsmeting
De meeste multimeters doen het heel slechts op dit gebied. Nauwkeurig wisselspanningen meten houdt op bij gemiddeld 10 kHz. Sommige goedkope meters doen het zelfs nog veel slechter en laten het al afweten bij een paar kHz!

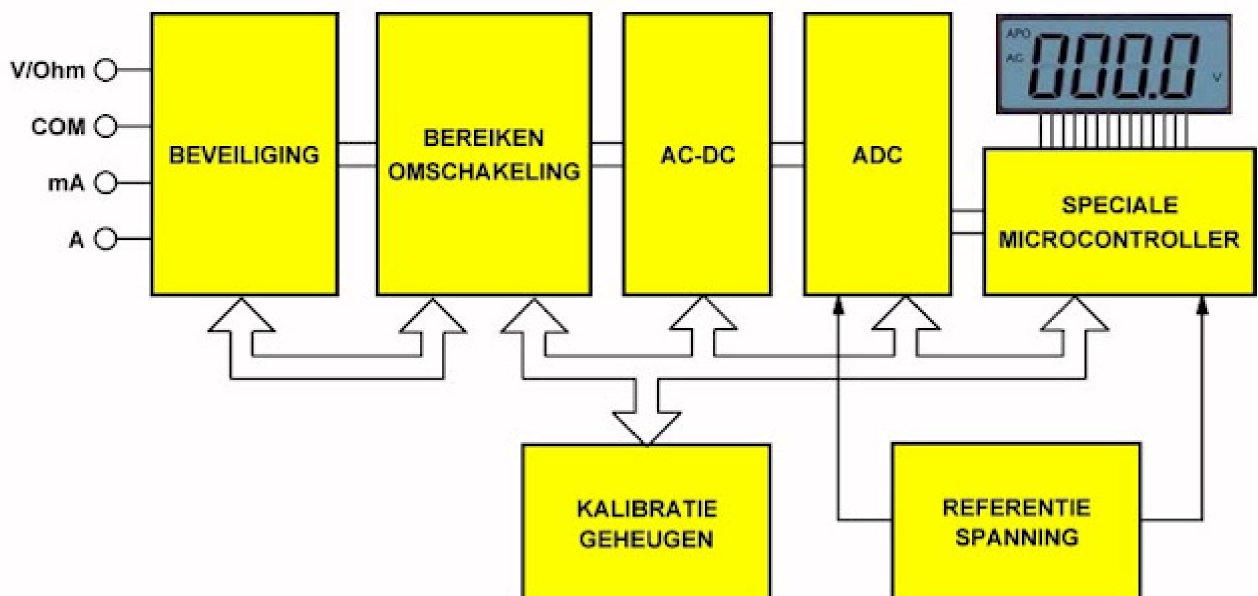
De crest-factor bij true-RMS metingen
De meeste moderne multimeters meten de echte effectieve waarde van een wisselspanning. Voor een sinusspanning is de effectieve waarde gemakkelijk te berekenen. Tussen de maximale waarde en de effectieve waarde bestaat namelijk een verhouding van 1,41. Voor andere signaalvormen ligt die verhouding heel anders. Die verhouding noemt met de crest-factor van de wisselspanning.
Multimeters zijn niet in staat de effectieve spanning van gelijk welke signaalvorm te berekenen. De meeste meters kunnen die berekening goed uitvoeren tot een crest-factor van ongeveer 3. Voor wisselspanningen die een grotere crest-factor hebben wordt de weergave van de effectieve waarde alles behalve betrouwbaar!

De burden-spanning bij stroommetingen
Multimeters meten een stroom door deze door een interne nauwkeurige weerstand te sturen en de spanningsval over deze weerstand te meten. Aan de hand van de wet van ohm kan de processor in de meter de waarde van de stroom berekenen en op het display zetten. De spanning die bij een volle schaal stroommeting over deze weerstand valt noemt met de '*burden-spanning'* van de multimeter. Het is duidelijk dat het verschijnen van deze spanning in het circuit waarin u meet voor een verstoring zorgt. Vandaar dat de burden-spanning zo klein mogelijk moet zijn.

De Common Mode Rejection Ratio CMRR van de multimeter
Zelfs bij het meten van gelijkspanning pikt de meter wisselspanningsvormige stoorsignalen op. Dat kan ruis zijn die via allerlei wegen op de ingangsklemmen van de meter terecht komt, bijvoorbeeld via de meetsnoeren. Ook elektromagnetische velden van de netspanning en haar harmonischen zijn overal aanwezig en komen bij een meting op de ingangsklemmen terecht. Die stoorsignalen kunnen de waarde van de samples die de meter neemt beïnvloeden. Een sample kan door zo'n stoorsignaal iets groter of kleiner zijn dan het vorige sample. De elektronica in de meter meet een iets grotere of kleinere spanning met als gevolg dat het meest rechtse cijfer van de uitlezing niet stabiel is maar heen en weer gaat springen tussen een paar cijfers. Dat noemt men de '*jitter*' op de uitlezing. Die stoorsignalen moeten dus zo goed mogelijk worden onderdrukt. Om dat te definiëren heeft men het begrip '***C****ommon* ***M****ode* ***R****ejection* ***R****atio*', afgekort tot CMRR, ingevoerd. Deze parameter geeft aan met hoeveel dB deze stoorsignalen worden onderdrukt. Waarden van 120 dB voor een goede multimeter zijn geen uitzondering!

De werking van digitale multimeters

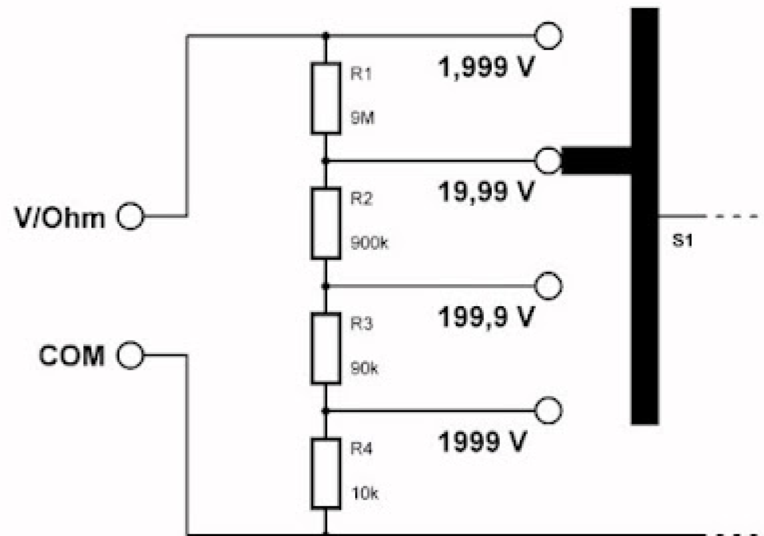
Het blokschema
In de onderstaande figuur is het algemeen geldende blokschema van iedere multimeter voorgesteld. Een zeer belangrijk blok is de '*BEVEILIGING*'. Dit zorgt ervoor dat noch de meter, noch de bediener schade oplopen als er iets verkeerd wordt ingesteld, bijvoorbeeld '*stromen meten*' selecteren en dan per abuis de netspanning op de meter aansluiten. Dit blok zorgt er bovendien bij de auto-ranging multimeters voor dat gedurende het instellen van het juiste bereik er niets wordt beschadigd in de elektronica. De '*BEREIKEN OMSCHAKELING*' kan met de hand of automatisch gebeuren. De '*AC/DC*' zorgt voor het omzetten van wisselspanningen en -stromen in gelijkspanningen die de daaropvolgende '*ADC*' kan bemonsteren. De elektronica wordt bestuurd door een speciale microcontroller die voor dit doel is ontwikkeld. Bepaalde Chinese chip-producenten hebben daarvoor schakelingen ontworpen die u in tientallen goedkope multimeters aantreft en vanwege het massale gebruik spotgoedkoop worden aangeboden.
Twee blokken zijn alleen in de duurdere uitvoeringen aanwezig. De '*REFERENTIE SPANNING*' zorgt voor een uiterst stabiele en nauwkeurige gelijkspanning die de basis vormt voor alle metingen. In goedkopere uitvoeringen zit er een speciale zenerdiode in de microcontroller die dat doet, maar dan wel met kleinere stabiliteit en nauwkeurigheid. Het blok '*KALIBRATIE GEHEUGEN*' slaat de gegevens op die gebruikt zijn bij het in de fabriek kalibreren van de individuele multimeters. Kalibreren door aan instelpotmetertjes te draaien is immers verleden tijd! Voor ieder meetbereik wordt in dit geheugen een correctiefactor opgeslagen die de onnauwkeurigheden van de deelweerstanden in de '*BEREIKEN OMSCHAKELING*' compenseert.



Het blokschema van een digitale multimeter. (© 2023 Jos Verstraten)

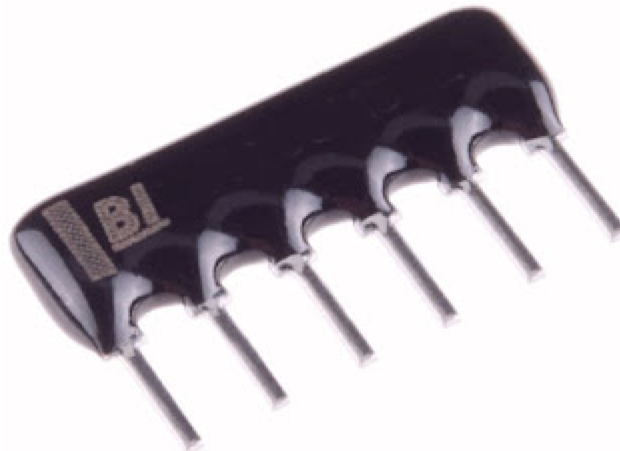
Het meten van gelijkspanningen
Bij multimeters met handbediening wordt het onderstaande schema toegepast voor het meten van gelijkspanningen. Een resistieve spanningsdeler zorgt voor deelverhoudingen van 1/1, 9/1, 99/1 en 999/1. Op deze manier ontstaan vier meetbereiken van 1,999 V, 19,99 V, 199,9 V en 1.999 V. Iedere ingangsspanning wordt door de spanningsdeler gereduceerd tot een spanning ergens tussen 0,000 V en ±1,999 V. Het is deze spanning die door de ADC wordt bemonsterd en omgezet in digitale codes die het display besturen. Omdat allerlei voorschriften verbieden om zo'n meter aan te bieden als geschikt voor het meten van 2 kV wordt de laatste stand meestal '*600 V*' genoemd.
De werking is eenvoudig te verklaren. Stel dat u een spanning van 100 V wilt meten. U zet de schakelaar S1 dan in de stand '*199,9 V*'. Er ontstaat dan een spanningsdeler met aan de bovenkant R1+R2 en aan de onderkant R3+R4. Ofwel, 9.900 kΩ en 100 kΩ. De bovenste weerstand is dus 99 keer groter dan de onderste en er valt 99 keer meer spanning over. Van de 100 V op de ingang valt dus 99 V over R1+2 en slechts 1 V over R3+R4. Die 1 V

verschijnt op het display als 100,0 V. Dat is een kwestie van de juiste decimale punt aan te sturen.



Het principe van het meten van gelijkspanningen.
(© 2023 Jos Verstraten)

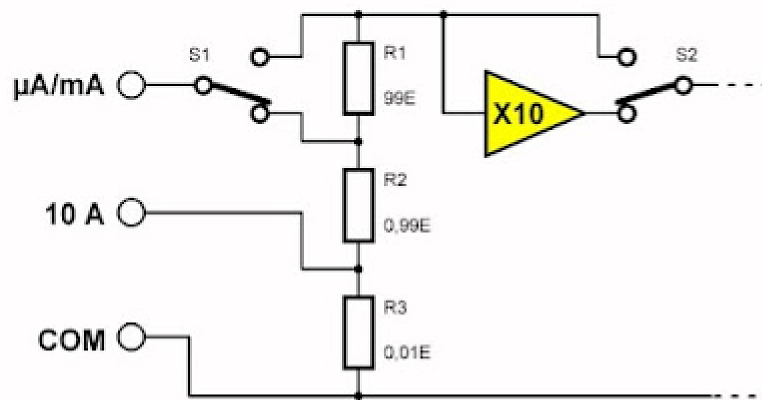
De zeer nauwkeurige weerstanden, een tolerantie van ±0,1 % of zelfs ±0,01 %, is standaard, zitten vaak in speciale weerstandsarray's. In de onderstaande foto ziet u een dergelijk onderdeel met draadaansluitingen, maar ze bestaan ook als SMD-component.



Een array met zeer nauwkeurige weerstanden.
(© AliExpress)

Het meten van gelijkstromen
De meeste multimeters hebben zes stroombereiken:
- 2 x µA
- 3 x mA
- 1 x A

Het basisschema is getekend in de onderstaande figuur. Om zo weinig mogelijk dure laagohmige precisie-weerstanden te moeten toepassen wordt vaak gebruik gemaakt van een x10 versterkertrap. De omschakelaars S1 en S2 worden gebruikt om te schakelen tussen de lage en de hoge bereiken in de µA en mA meetbereiken. Op die slimme manier zijn slechts drie weerstanden nodig.
De te meten stroom vloeit door een weerstand van 0,01 Ω, 1 Ω of 100 Ω en wekt volgens de wet van ohm spanningen op die numeriek identiek zijn aan de stroom en dus gemeten kunnen worden met de ADC.

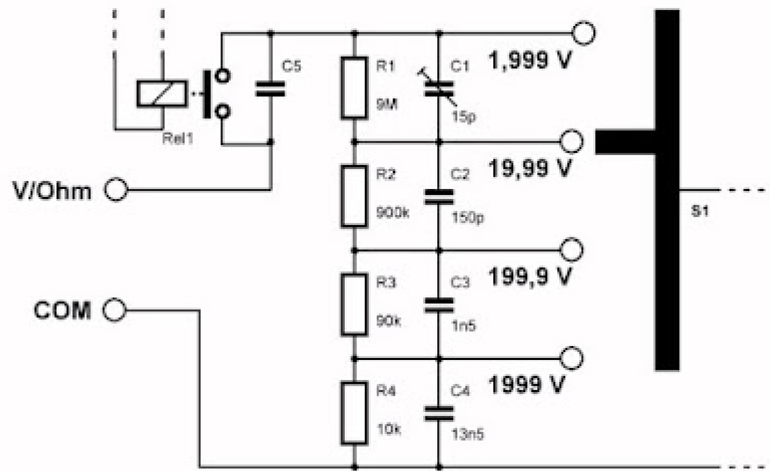


Basisschakeling voor het meten van gelijkstromen.
(© 2023 Jos Verstraten)

De weerstanden worden '*shunt-weerstanden*' genoemd. Voor het meten van grote stromen moeten zeer lage shunts worden toegepast. Waarden van 0,1 Ω en zelfs 0,01 Ω zijn geen uitzondering. Het is niet eenvoudig om de spanningsval over zo'n weerstand nauwkeurig te meten. Dat vereist heel wat ervaring met het ontwerpen van de lay-out van de print! Dergelijke weerstanden zien er ook een beetje ongewoon uit. In de onderstaande foto is het leveringsprogramma samengevat van een Chinees bedrijf dat gespecialiseerd is in het maken van dergelijke nauwkeurige lage weerstandswaarden.


De speciale zeer laagohmige shunt-weerstanden.
(© Kang Yoxin Electronics)

Meten van wisselspanningen
Bij het meten van deze grootheid spelen de parasitaire capaciteiten die aanwezig zijn tussen de track's van de print, de aansluitbussen, de schakelaarcontacten, etc. een belangrijke rol. Die capaciteiten zijn niet groot, maar vergeet niet dat een capaciteit van 100 pF bij een frequentie van 10 kHz al een wisselstroomweerstand van ongeveer 160 kΩ heeft. Een spanningsdeler met een bovenste weerstand van 9 MΩ zal dus door de wisselstroomweerstand van de parasitaire capaciteiten nogal in de war worden gebracht. Er blijft, bij frequenties in het kHz-bereik, weinig over van de mooie 999/1, 99/1, etc. spanningsdeling.
De oplossing die men voor dit probleem heeft verzonnen is een tweede spanningsdeler, maar dan capacitief uitgevoerd. Over iedere weerstand van de reeds beschreven DC-spanningsdeler staat een condensator. De waarden van deze condensatoren zijn zo gekozen dat zij voor wisselspanning een identieke deelverhouding hebben als de weerstanden voor gelijkspanning. Over de hoogste weerstanden staan de kleinste condensatoren. Vaak zijn deze uitgevoerd onder de vorm van trimmers. Het aangepaste schema is getekend in de onderstaande figuur.



De capacitieve spanningsdeler voor het meten van wisselspanningen.
(© 2023 Jos Verstraten)

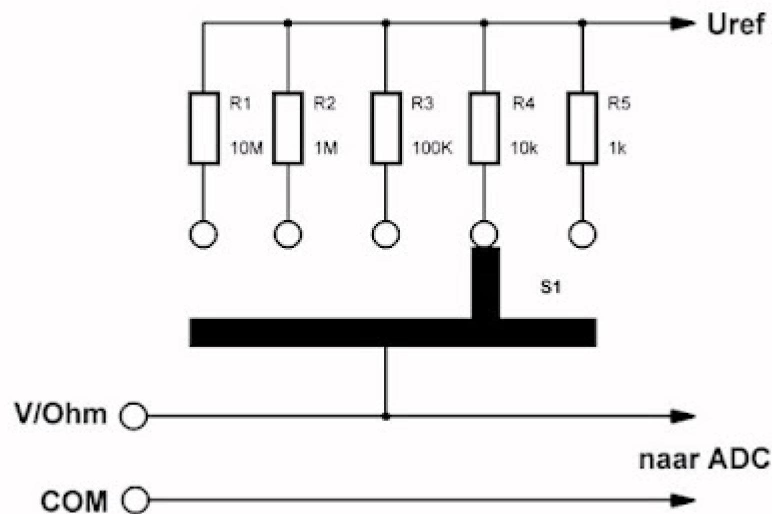
Meten van wisselstromen
De shunts voor het meten van gelijkstromen kunnen zonder capacitieve compensatie ook worden gebruikt voor het meten van wisselstromen. Die weerstanden zijn zo klein dat de parasitaire capaciteiten een te verwaarlozen invloed hebben.

AC of DC+AC?
Bij het duurdere soort multimeter wordt nog een seriecondensator C5 opgenomen, zie bovenstaand schema. Deze spert eventueel op de wisselspanning aanwezige gelijkspanning. Dat moet een grote hoogspanningscondensator zijn. Die zijn duur en moeten met een al even duur relais in of uit het circuit worden geschakeld. Die zult u dan ook tevergeefs zoeken in de low-budget meters. Die meten dus geen zuivere wisselspanning maar '*DC+AC*'. Het gevolg is wél dat u met zo'n meter zonder scheidingscondensator niet bijvoorbeeld de wisselspanningsrimpel over een afvlakcondensator kunt meten.

Gemiddelde waarde of true-RMS
Voor het meten van wisselspanningen en -stromen is steeds een gelijkrichter noodzakelijk. In goedkope meters wordt een simpele diode-gelijkrichter toegepast die de gemiddelde gelijkspanningswaarde van de wisselspanning over een condensator zet en deze aan de ADC aanbiedt. Zo'n eenvoudige gelijkrichter kan worden geijkt in effectieve waarden voor een zuivere sinusoidale wisselspanning. Maar als u wisselspanningen meet die heel andere vormen hebben, zoals blokvormige spanningen of fase-aangesneden of -afgesneden sinussen, dan kunt u niet meer vertrouwen op de nauwkeurigheid van de meting. Vandaar dat tegenwoordig een heleboel multimeters worden aangeprezen met de kreet '*true-RMS*'. Dat betekent dat er in de elektronica een schakeling aanwezig is die de echte effectieve waarde berekent van iedere wisselspanning die u aan de meter aanbiedt. In de betere multimeters worden hiervoor IC's van Analog Devices ingezet, zoals de AD736 of AD5361. Echter, aan de nauwkeurigheid van deze IC's zit een grens. Deze wordt bepaald door de crest-factor van de wisselspanning. Iedere goede meter die true-RMS meet heeft in de specificaties een tabelletje staan waaruit u kunt afleiden welke extra meetfout een van 1,414 afwijkende crest-factor tot gevolg heeft. Die 1,414 is de crest-factor van een zuiver sinusoidale wisselspanning.
Bij moderne microcontroller bestuurde multimeters worden digitale principes gebruikt. Het wisselspanningssignaal wordt op een zo hoog mogelijke frequentie bemonsterd om de golfvorm zo goed mogelijk vast te leggen. De RMS-waarde wordt dan berekend met behulp van de vierkantswortel van de gemiddelde waarde van de kwadraten van de afzonderlijke metingen. U moet er echter wél rekening mee houden dat er ook dan grenzen zijn aan de crest-factor waarbij zo'n multimeter nog een betrouwbare indicatie geeft.

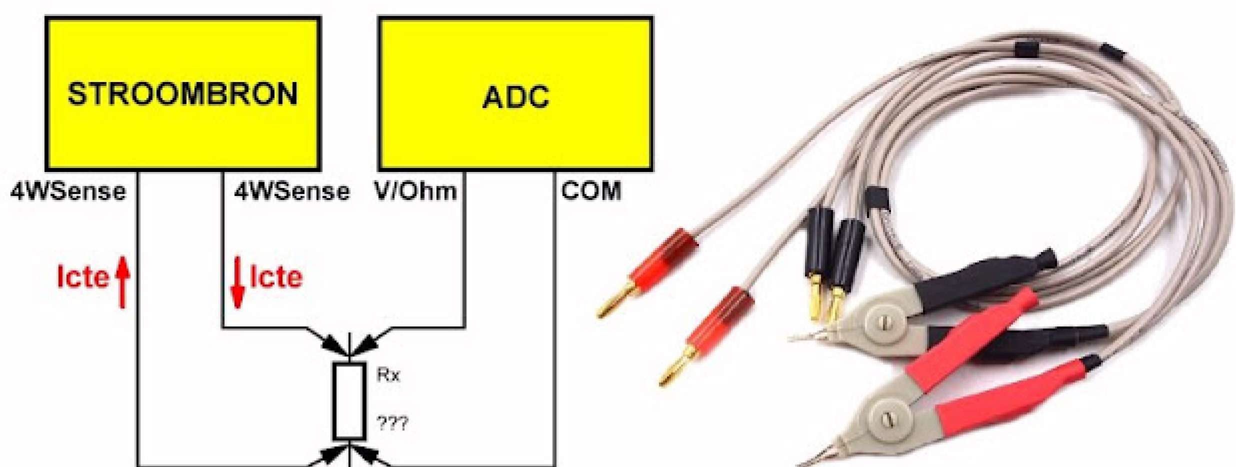
Meten van weerstanden met twee meetsnoeren
Deze methode wordt in vrijwel alle hand-held multimeters gebruikt. U meet de weerstand door deze aan te sluiten tussen de '*COM*' en de '*V/Ohm*' bussen. De gebruikt meetmethode

heet de '*ratiometing*'. De te meten weerstand wordt in serie met een nauwkeurig bekende weerstand aangesloten op de interne referentiespanning U_{ref}. De ADC meet de spanningsval over de onbekende weerstand. Omdat de referentiespanning en de serieweerstand zijn bekend kan uit de meting van de spanningsval de waarde van de weerstand worden afgeleid. Voor ieder meetbereik wordt een andere nauwkeurige weerstand in serie met de te meten weerstand ingeschakeld. Het principeschema is voorgesteld in de onderstaande figuur.



Het meten van weerstanden met de 'ratiometing'.
(© 2023 Jos Verstraten)

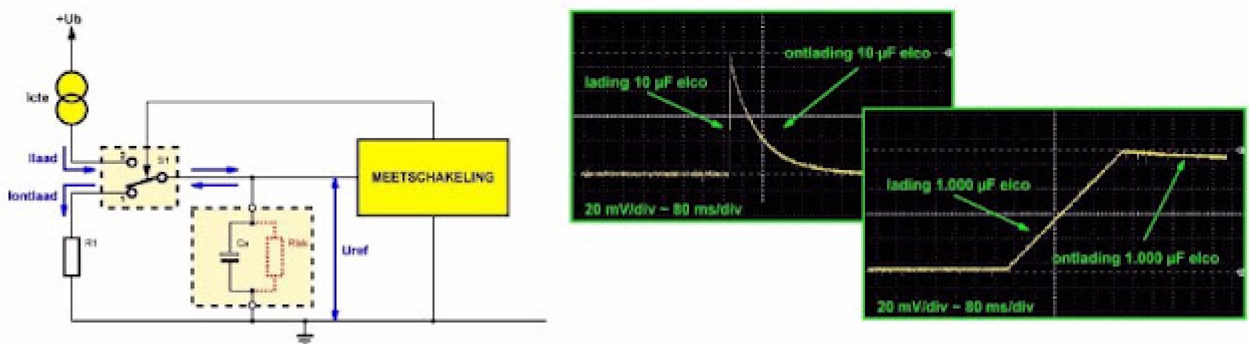
Meten van weerstanden met vier meetsnoeren
Het nadeel van de '*ratiometing*'-methode is dat de weerstand van de twee aansluitsnoeren wordt meegemeten. Bij multimeters met een '*REL*'-functie kunt u deze uiteraard compenseren, maar ideaal is het niet. Vrijwel alle desktop multimeters maken gebruik van de vierdraads methode voor het meten van weerstanden. Dat noemt men ook wel de '*kelvin-methode*'. Het principe is vrij simpel. Via twee meetsnoeren aangesloten op de twee bussen '*4WSense*' wordt een zeer nauwkeurige constante stroom naar de te meten weerstand gestuurd. Via twee andere meetsnoeren aangesloten op de '*COM*' en de '*V/Ohm*' bussen wordt de spanningsval gemeten die de stroom over de weerstand opwekt. Als u de vier klemmen van de vier snoeren zo dicht mogelijk bij de weerstand aanbrengt wordt zelfs de kleinste weerstand nauwkeurig gemeten. Voor deze meting zijn er speciale meetsnoeren in de handel, zogenaamde kelvin-meetklemmen. Die bestaan uit twee tangen met vergulde bekken. Iedere bek sluit één ader van de stroombron op de weerstand aan en voert één pool van de opgewekte spanning weer af.



Het meten van weerstanden met de 'kelvin-methode'. (© 2023 Jos Verstraten)

Meten van condensatoren

Alle multimeters meten condensatoren op identieke manier. Het principe is geschetst in de onderstaande figuur. De te meten condensator C_x wordt aangesloten op een elektronische omschakelaar S1. In de getekende stand 1 wordt de condensator ontladen via de weerstand R1 met de ontlaadstroom $I_{ontlaad}$ tot hij volledig is ontladen. De meter schakelt even later de schakelaar S1 om naar stand 2 en de te meten condensator wordt nu geladen met een zeer constante stroom I_{laad}, geleverd door een zeer stabiele stroombron. Dit laden gaat door tot de spanning over de condensator tot een bepaalde waarde U_{ref} is gestegen. Op dit moment stuurt de meetschakeling de elektronische schakelaar weer naar stand 1.
De tijd die noodzakelijk is om de condensator op te laden van 0 V tot de referentiewaarde U_{ref} is recht evenredig met de waarde van het onderdeel. Immers, uit de elektriciteitsleer weet u:
$Q = U \cdot C$
De lading in een condensator is gelijk aan de capaciteit van de condensator vermenigvuldigd met de spanning over het onderdeel.
Maar ook:
$Q = I \cdot t$
De lading in een condensator is gelijk aan de stroom die in de condensator vloeit, vermenigvuldigd met de tijd dat deze stroom vloeit.
Dus is:
$U \cdot C = I \cdot t$
Of:
$C = [I \cdot t] / U = [I / U] \cdot t = cte \cdot t$
Bij de besproken schakeling zijn immers de laadstroom I_{laad} en de referentiespanning U_{ref} constant. Er bestaat dus inderdaad een recht evenredig verband tussen de waarde C van de condensator en de laadtijd t die nodig is om de volledig ontladen condensator met een constante stroom op te laden tot de referentiespanning. Door deze tijd t te meten kan de processor in uw multimeter de waarde van de condensator berekenen en op het display zetten.

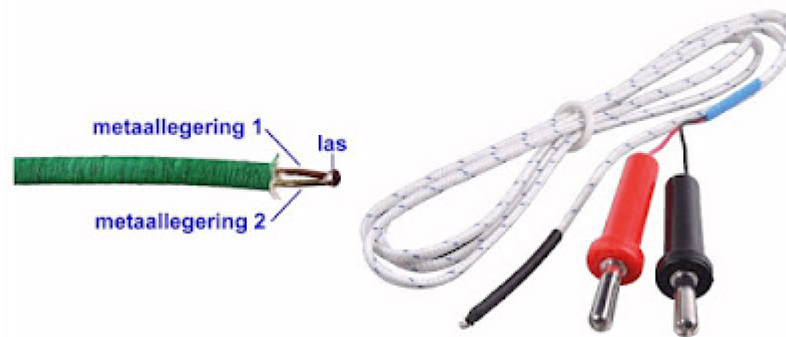


Het meten van condensatoren. (© 2023 Jos Verstraten)

Dit systeem werkt uitstekend en zeer nauwkeurig als u niet-elektrolytische condensatoren meet. Deze hebben namelijk een volledig te verwaarlozen lekstroom. Elco's hebben dat niet en die grote lekstroom kunt u voorstellen door een parasitaire weerstand R_{lek} die parallel over de condensator C_x staat (zie bovenstaand schema). Door deze weerstand gaat uiteraard ook een stroom vloeien, de lekstroom van de condensator. Omdat de stroombron een constante stroom levert wordt deze lekstroom afgetrokken van de stroom die door de ideale condensator C_x vloeit. De laadtijd van de condensator wordt in de praktijk dus beïnvloed door de grootte van de lekstroom. Meet u twee elco's met identieke capaciteiten die echter uiteenlopende lekstromen hebben, dan zal uw digitale multimeter twee heel verschillende capaciteitswaarden op het scherm zetten.

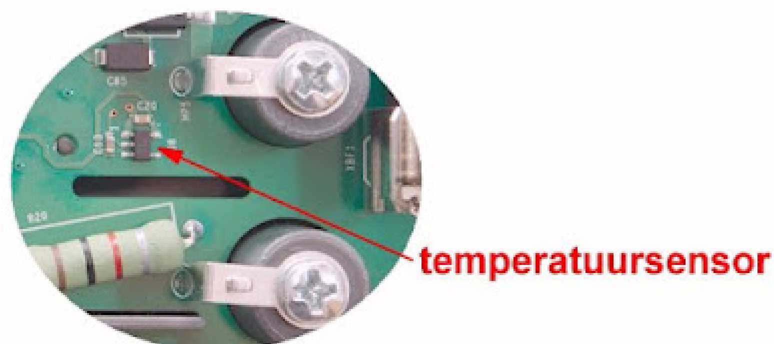
Meten van temperaturen
Alle multimeters die temperaturen meten werken volgens het principe van de thermokoppel-meting. Een thermokoppel bestaat uit twee draden, uit verschillende metaallegeringen getrokken, die op één punt innig contact met elkaar maken. Meestal wordt gebruik gemaakt van een type-K thermokoppel dat bestaat uit een draad uit chromel en een draad uit alumel.

In de onderstaande foto ziet u zo'n bij een multimeter geleverd thermokoppel.



Een typisch voorbeeld van een bij een multimeter geleverd thermokoppel.
(© 2023 Jos Verstraten)

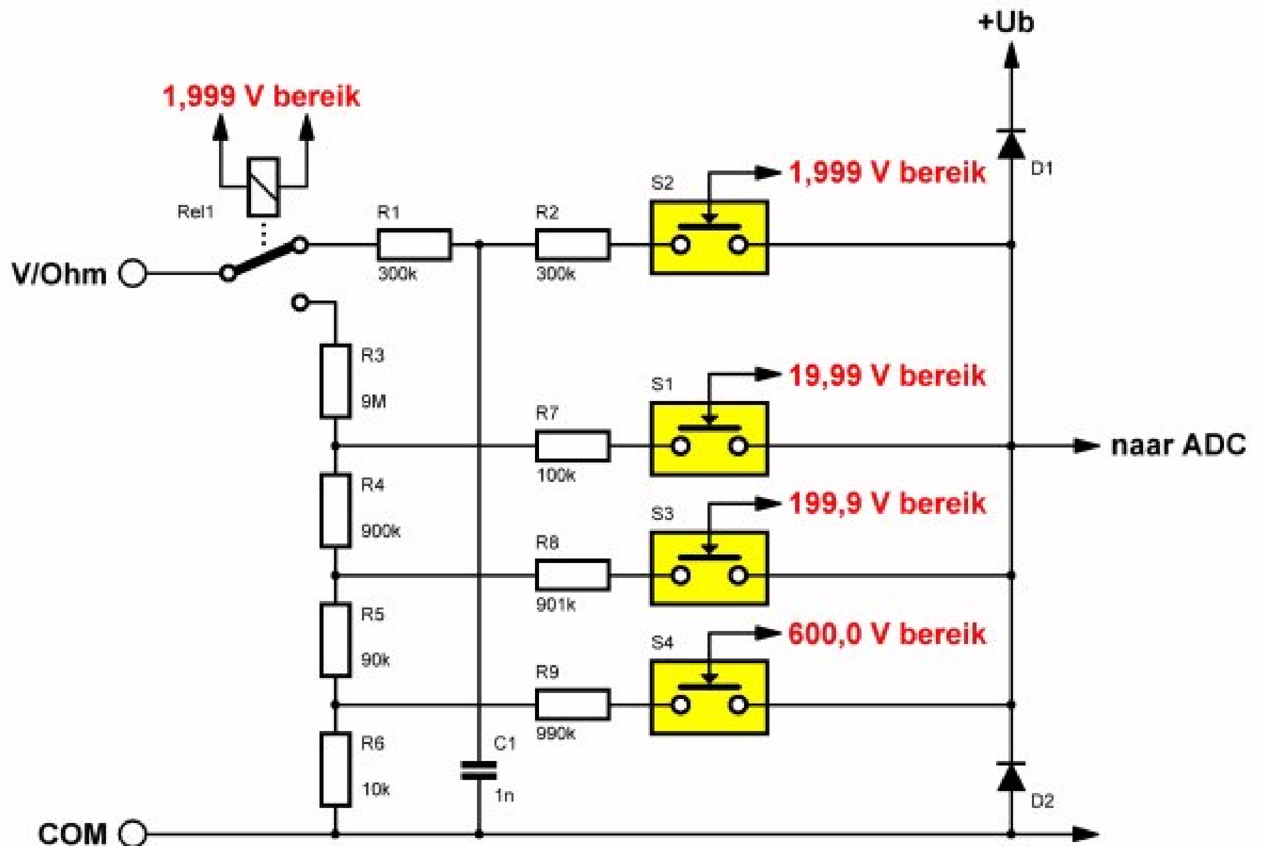
Een dergelijk onderdeel levert een zeer lage spanning, namelijk 40,4 μV/°C. Er moet dus flink worden versterkt! Dat is niet het enige probleem. Omdat de meeste multimeters alleen 4 mm bussen hebben moet het thermokoppel via 4 mm banaanstekkers op de meter worden aangesloten. Daar ontstaat een aantal zogenaamde '*koude lassen*'. De chromeldraad zit in het metaal van de banaanstekker geschroefd en de banaanstekker zit in de bus van de multimeter. Ook dat zijn punten waar twee verschillende metalen innig contact met elkaar maken en ontstaan thermo-spanningen. Deze worden opgeteld of afgetrokken van de thermospanning die het '*echte*' thermokoppel levert en zorgen voor een grote meetfout.
Om nauwkeurig temperaturen te meten met thermokoppels moet men aan '*koude las compensatie*' doen. De omgevingstemperatuur wordt gemeten en de thermospanningen die de koude lassen bij die temperatuur leveren worden gecompenseerd in de meter.
Bij goede multimeters zit er tussen de 4 mm bussen '*COM*' en '*V/Ohm*' een temperatuursensor die de interne temperatuur van de meter meet. De uitgangsspanning van die sensor wordt door de processor gebruikt om de spanningen van de koude lassen te compenseren. Soms zit deze sensor in de speciale processor-chip die voor dat ene model multimeter is ontworpen. In de onderstaande foto, overgenomen van lygte-info, ziet u zo'n temperatuursensor in de buurt van de ingangsbussen op de print van een prijzige Fluke-multimeter.



De sensor voor de koude-las compensatie.
(© lygte-info, edit door Jos Verstraten)

De werking van de auto-ranging meters
In principe werken auto-ranging multimeters op vergelijkbare manier als de handbediende multimeters. De bereiken worden geselecteerd door het juiste knooppunt van een weerstandsdeler te selecteren en aan de ADC aan te bieden. Nu gebeurt die selectie echter door reed-relais en/of door elektronische schakelaars. In het onderstaande schema is bijvoorbeeld weergegeven hoe een auto-ranging multimeter het juiste spanningsbereik selecteert. Voor de elektronische schakelaars wordt meestal gebruik gemaakt van IC's uit de CMOS 4000-familie. De ON-weerstand van die schakelaars is te verwaarlozen als u deze vergelijkt met de waarde van de weerstanden in het schema. Alleen voor het omschakelen

naar het laagste meetbereik wordt een reed-relais toegepast.



De auto-ranging schakeling voor gelijkspanning. (© 2023 Jos Verstraten)

De beveiliging van een multimeter

Inleiding
Een goede multimeter is '*fool-proof*' ontworpen. Dat betekent dat de meter iedere foutieve instelling overleeft en dat hooguit een interne zekering de geest geeft. Maar bij digitale multimeters die een paar tientjes kosten moet u er maar vanuit gaan dat dit niet het geval is en dat u goed moet nadenken hoe u de meter moet instellen vóór u de meting uitvoert.

Beveiliging stroombereiken door zekeringen
Alle multimeters hebben een of twee zekeringen die de meetbereiken voor stroom beveiligen tegen overbelasting. In goedkope meters worden de bekende glaszekeringen van 5,0 mm x 20,0 mm toegepast. Digitale multimeters van het betere soort zijn voorzien van speciale zekeringen met een hoge energie-capaciteit die zijn ontworpen om de zeer hoge vermogens te absorberen die kunnen ontstaan als u bijvoorbeeld de netspanning aansluit in de stand '10,00 A'. Dat zijn zogenaamde '*HRC-fuses*', letterwoord van '***H**igh **R**upturing **C**apacity*'. Deze zekeringen kosten meer dan een tientje en de verleiding is groot om deze te vervangen door goedkopere zekeringen met identieke afmetingen. Doe dat nooit! U vergroot het risico op blootstelling aan een vlamboog-explosie als de meter, geschakeld in het stroombereik, per ongeluk op de netspanning wordt aangesloten.
In de onderstaande foto ziet u een dergelijke zekering. Wat meteen opvalt is dat dergelijke zekeringen veel groter zijn dan de kleine 5,0 mm x 20,0 mm zekeringen die u kent. Standaard afmetingen zijn 10 mm x 35 mm of zelf 10 mm bij 38 mm. Dat heeft niet alleen te maken met hun hogere energie-capaciteit, maar ook met het feit dat deze zekeringen gespecificeerd zijn voor hogere spanningen dan de 250 V van de standaard glaszekeringen.

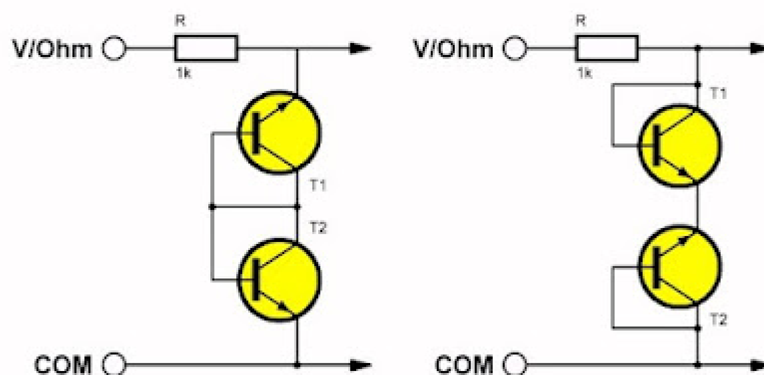


Een 'High Rupturing Capacity' zekering.
(© 2023 Jos Verstraten)

Beveiliging van de spanningsbereiken
Als u de multimeter op de stand 199,9 mV zet en aansluit op de netspanning mag er in theorie niets naars gebeuren. Om dat te realiseren is er een aantal beveiligingssystemen ontwikkeld die soms alleen en soms samen worden toegepast. Al die beveiligingen hebben tot taak de spanning die op de interne elektronica terecht komt te beperken tot een veilige waarde. Voorwaarde is wel dat deze extra schakelingen de nauwkeurigheid van de metingen niet beïnvloeden. U kunt de onderstaande beveiligingen vinden:

- Als zenerdiode gebruikte transistoren
- MOV's
- PTC's

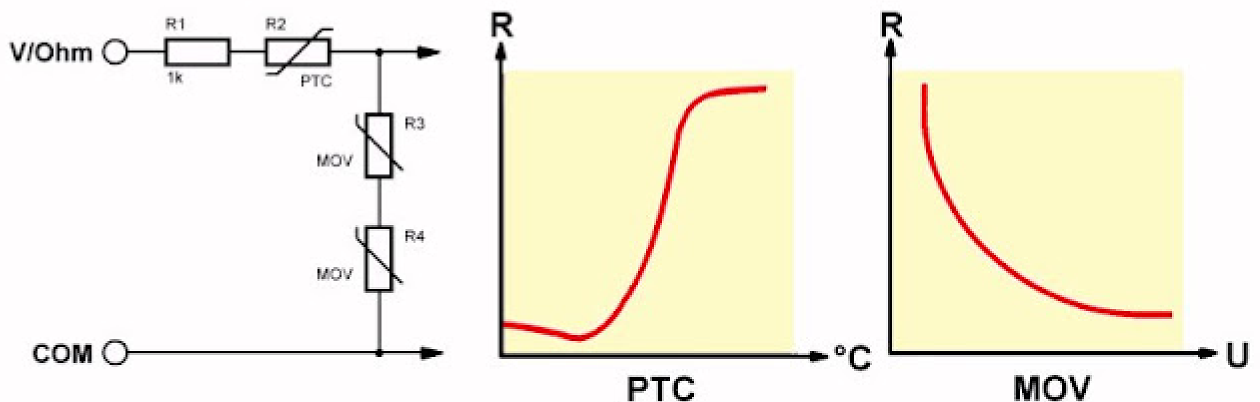
Beveiliging met als zenerdiode gebruikte transistoren
Als u de collector van een silicium NPN transistor negatief maakt ten opzichte van de emitter gaat dit onderdeel, bij een bepaalde spanning, werken als een zenerdiode met een zeer lage lekstroom. De zenerspanning ligt rond de 10 V. De beveiliging ziet er dan uit als geschetst in de onderstaande figuur.



Beveiliging door middel van transistoren. (© 2023 Jos Verstraten)

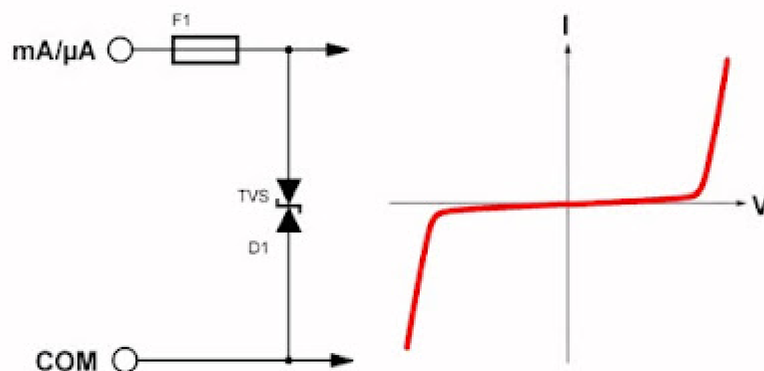
Beveiliging met MOV's en PTC's
Een andere methode om de elektronica van de meter te beveiligen tegen te hoge spanning is getekend in de onderstaande figuur. Er wordt een spanningsdeler gevormd met een PTC en een aantal MOV's. Een PTC is een weerstand met een positieve temperatuurscoëfficiënt. Bij kamertemperatuur heeft zo'n onderdeel een heel lage weerstand. Boven een bepaalde drempeltemperatuur stijgt de weerstand opeens heel sterk, soms wel van 10 Ω tot 100 kΩ. Een MOV is een '***M**etal **O**xide **V**aristor*' en heeft een zeer hoge weerstand bij een kleine spanning over het onderdeel. Als de spanning stijgt daalt de weerstand tot een lage waarde.

Beide onderdelen worden tussen de ingangen van de multimeter geschakeld zoals getekend in de onderstaande figuur. Als u een veel te hoge spanning op de ingang van de meter aanlegt zal de grote stroom die gaat vloeien zorgen voor een opwarming van de PTC, zodat zijn waarde enorm stijgt. De weerstand van de MOV daalt. Beide acties zorgen voor een effectieve beveiliging van de elektronische ingewanden van de multimeter tegen vernietigende overspanningen.



Beveiliging door middel van MOV's en PTC's. (© 2023 Jos Verstraten)

Beveiliging van de gevoelige stroombereiken met TVS's
Tot slot nog een schema dat vaak in goedkope multimeters wordt aangetroffen voor het beveiligen van de stroombereiken. Na de zekering staat een TVS geschakeld tussen de stroomingang en de '*COM*'. TVS is het letterwoord van '***T****ransient* ***V****oltage* ***S****uppressor*'. Een dergelijk onderdeel gedraagt zich als twee in anti-serie geschakelde zenerdiodes. Als u per ongeluk een hoge spanning tussen de '*mA/µA*'-bus en de '*COM*'-bus zet zal de TVS doorslaan en een kortsluiting vormen. De zekering F1 slaat dan onmiddellijk door.



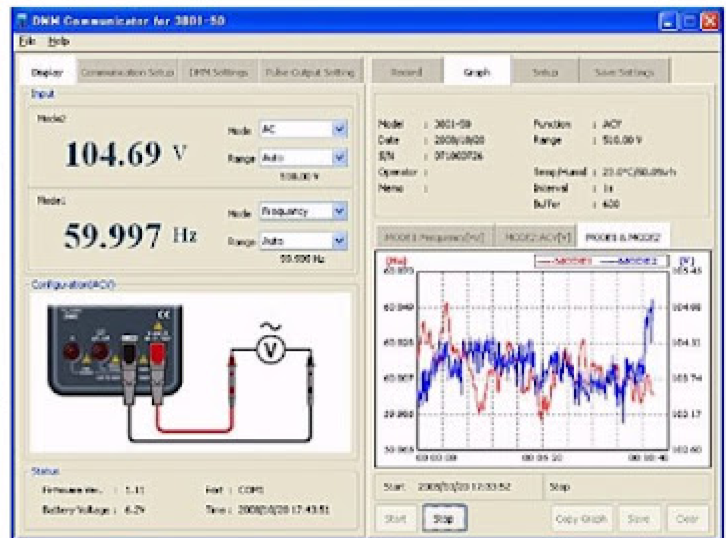
Beveiliging door middel van een TVS. (© 2023 Jos Verstraten)

Koppeling met de computer

Dataloggen met de computer
Er worden veel multimeters aangeboden die een USB-connector hebben waarmee u de meter kunt verbinden met een USB-poort van uw PC. Met meegeleverde software kunt u dan de meter bedienen met de muis. Dat vinden wij niet zo interessant. Nuttiger is de mogelijkheid om de meetresultaten van de meter in een bestandje op de harde schijf van uw computer op te slaan, zodat u de multimeter ook als datalogger kunt toepassen.

Geen standaard interface
Iedere fabrikant van multimeters verzint echter wel een eigen interface naar het scherm van uw PC. Sommigen zijn uiterst primitief en nauwelijks bruikbaar, anderen zijn zeer goed doordacht en vormen een nuttige uitbreiding op de mogelijkheden van een multimeter.





Twee van de vele PC-interfaces die bij een multimeter worden geleverd.
(© 2023 Jos Verstraten)